

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

ПРОГРАМА, КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ  
ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ  
З КУРСУ

**«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**  
**ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»**

(для студентів 3-5 курсів усіх форм навчання напряму підготовки  
(0922) 6.050702 «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт»  
та «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»)

Програма, контрольні роботи та методичні вказівки до самостійної роботи з курсу «Електропостачання електричного транспорту» (для студентів 3-5 курсів усіх форм навчання напряму підготовки (0922) 6.050702 «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт» та «Електричні системи і комплекси транспортних засобів») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Нем В.К., Гаряжа В.М., Лукашова Н.П. – Х.: ХНАМГ, 2007. – 31 с.

**Укладачі:** В.К. Нем,  
В.М. Гаряжа,  
Н.П. Лукашова

**Рецензенти:** доц. Д.А.Герасименко – начальник енергослужби ХКП  
«Міськелектротранс»

Затверджено кафедрою ЕТ, протокол № 5 від 21.12.2006 р.

## **ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ**

До програми курсу входять три основних розділи:

- а) влаштування і механічний розрахунок тягових мереж (теми I-IX);
- б) розрахунок електричних мереж (теми X-XVI);
- в) електричний розрахунок систем електропостачання електричного транспорту (теми XVII-XXII).

Метою вивчення дисципліни є засвоєння основних теоретичних положень, що стосуються роботи тягових мереж, методів що застосовуються для розрахунків і їх практичне використання, а також отримання ясних уявлень про існуючі конструкції контактної та кабельної мережі і їх порівняльної оцінки.

# **ПРОГРАМА КУРСУ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ТЕМ**

## **ТЕМА 1. ВСТУП**

Завдання і зміст курсу, його зв'язок з суміжними дисциплінами.

Загальна схема електропостачання електротранспорту та її основні елементи.

Коротка історія розвитку систем електропостачання міського електричного транспорту. Роботи російських вчених у галузі електроенергетики і електропостачання електричного транспорту. Найважливіші відкриття у цих галузях.

Загальні вимоги, що ставляться до електропостачання електричного транспорту. Взаємодія систем електропостачання і електричного рухомого складу.

### **Методичні вказівки**

При вивченні вступу студент повинен з'ясувати призначення та роль контактної мережі, позитивних і негативних ліній, що живлять у загальній системі електропостачання електротранспорту. Треба також засвоїти сучасні системи контактної мережі та область їх застосування.

## **ТЕМА 2. ВЛАШТУВАННЯ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ**

Загальні відомості про контактну мережу електричного транспорту.

Сучасні системи підвісок контактної мережі та їх класифікація. Проста і ланцюгова підвіски контактного дроту та їх різновиди. Порівняльна характеристика і області застосування систем підвісок контактної мережі на міському електричному транспорті.

Кінематика і динаміка взаємодії контактної мережі і струмоприймача поїзда. Характеристики струмоприймачів трамвая, тролейбуса та метро. Струмознімач, вплив різноманітних факторів на якість струмознімача. Заходи, що сприяють поліпшенню струмознімача.

Влаштування контактної мережі трамвая і тролейбуса. Принцип влаштування повітряної контактної мережі. Анкерні ділянки та їх з'єднання. Розташування контактних дротів у плані на прямих і кривих ділянках шляху.

Елементи підвіски повітряної контактної мережі. Контактний дріт. Сталевий дріт і канати. ГОСТи на матеріали та переріз дротів і тросів. Ізоляційна і підвісна арматура трамвая і тролейбуса. Допоміжне обладнання контактної мережі. Спеціальне обладнання мережі трамвая і тролейбуса: криві тримачі, пересічення, повітряні стрілки тролейбусної мережі і автоматизація керування ними, секційні ізолятори і розрядники. Влаштування контактної мережі у штучних спорудах. Габарити пристроїв контактної мережі.

Підтримуючі пристрої. Конструкція і деталі підтримуючих пристроїв. Гнучка поперечна підвіска. Типи фундаментів опор.

Влаштування контактної мережі метрополітену. Система контактної рейки. Обладнання опорних точок і стиків контактної рейки. Температурні стики.

Влаштування контактної рейки на стрілках та пересіченнях.

Ходові рейки як зворотний дріт у системі тягової мережі трамвая. Електричні стикові з'єднання та їх конструкція. Міжрейкові і міжшляхові електричні з'єднання. Секціонування і живлення контактної мережі. Дистанційне керування секційними й лінійними розщеплювачами. Захисні пристрої від атмосферних перенапружень.

При вивченні теми треба з'ясувати фактори, що впливають на якість струмоприймача, та умови, що забезпечують зменшення зносу контактного проводу та струмоприймача. Слід також вивчити конструкцію різноманітних типів контактних мереж і обладнання, що застосовують при їх влаштуванні. При вивченні питань трасування контактної мережі необхідно ознайомитися з відповідними вимогами норм і технічних умов проектування систем електропостачання трамваїв і тролейбусів.

### **ТЕМА 3. МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПОЗДОВЖНЬОЇ ПІДВІСКИ**

Розрахункові режими повітряних контактних підвісок. Розрахунок навантаження проводів і тросів від власної ваги, ожеледиці й вітру. Вплив метеорологічних умов різних районів. Визначення результируючих навантажень в розрахункових режимах. Норми і коефіцієнти запасу, що приймаються при розрахунку контактних підвісок.

Основні залежності між натягом і стрілою провису вільно підвішеного проводу. Еквівалентний проліт. Натяг і стріла провису проводу при зміні атмосферних умов. Рівняння стану для комбінованих проводів. Монтажні таблиці й криві. Критичний проліт, критична температура. Вибір вихідного режиму для розрахунку. Розрахунок простої підвіски з сезонним регулюванням.

#### **Методичні вказівки**

При вивченні цієї теми необхідно засвоїти існуючі методи розрахунків. Критерії вибору розрахункових режимів. Складання рівняння стану різних підвісок. Призначення

### **ТЕМА 4. МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПОЗДОВЖНЬО-ЛАНЦЮГОВОЇ ПІДВІСКИ**

Допущення при розрахунку ланцюгових підвісок. Узагальнена формула для розрахунку ланцюгових підвісок. Безпровисне положення контактних проводів. Натяг і стріли провису несучого троса. Критичне навантаження. Еквівалентний і критичний прольоти поздовжньо-ланцюгової підвіски. Розрахунок ненавантаженого несучого троса. Розрахунок напівкомпресованої поздовжньо-ланцюгової підвіски. Технічно-економічне обґрунтування вибору довжини прольоту. Розрахунок довжини анкерної ділянки. Монтажні таблиці й криві.

### **Методичні вказівки**

При вивченні теми треба звернути увагу на особливості механічного розрахунку несучого троса ланцюгової підвіски у навантаженому стані, коли крім навантажень від власної ваги і часових навантажень на нього від ожеледиці й вітру необхідно враховувати додаткові навантаження від ваги контактних і допоміжних проводів, а також вплив ожеледиці й вітру на ці проводи. Крім цього, важливо знати значення натягу і стріл провису ненавантаженого несучого троса при його монтажі до завіски на нього контактних проводів.

Слід також звернути увагу на еластичність ланцюгових підвісок і вплив еластичності на якість і надійність струмознімача.

## **ТЕМА 5. МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПІДТРИМУЮЧИХ ПРИБОРІВ**

Визначення довжини хорди на криволінійній ділянці мережі трамвая і тролейбуса. Навантаження підтримуючих пристроїв. Розрахунок простої поздовжньої підвіски. Поздовжньо-ланцюгова підвіска. Розрахунок несучого троса. Розрахунок фіксуючого троса. Розрахункові режими. Графічний розрахунок полігонної підвіски.

### **Методичні вказівки**

Студент мусить засвоїти перелік навантажень, що діють на підтримуючі конструкції, а також методи їх визначення. Необхідно також вивчити методи розрахунку різних видів підтримуючих конструкцій, звернувши особливу увагу на вміння практично використовувати формули, що приводяться розрахунком.

## **ТЕМА 6. РОЗРАХУНОК ОПОР**

Типи опор. Їх технічно-економічне порівняння. Визначення навантажень, що діють на опори. Вибір типових опор.

Робота фунту. Відомості про ґрунти. Розрахунок закріплення опор у фунт. Фундаменти.

### **Методичні вказівки**

При вивченні теми повинні бути засвоєні методи розрахунку залізобетонних і металевих опор та закріплення їх у ґрунті. Щодо залізобетонних опор необхідно з'ясувати їх переваги перед іншими типами опор з точки зору економії металу, строку служби і догляду в експлуатації, а також ознайомитися з методами виготовлення залізобетонних опор з використанням передчасно напруженої арматури.

## **ТЕМА 7. ВЛАШТУВАННЯ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ**

Склад робіт по влаштуванню контактної мережі. Розподіл мережі на місцевості. Підготовка котлованів. Встановлення опор і кронштейнів. Монтаж гнучких поперечин. Монтаж поздовжніх і поперечних елементів конструкції. Монтаж спеціального обладнання контактної мережі.

Передові методи організації технологічного процесу монтажу контактної мережі. Огляди, виміри та ремонт. Контроль зносу контактного проводу і способи зменшення зносу. Виконання вимірів та їх механізація. Види ремонтів контактної мережі, їх періодичність та обсяг робіт за окремими видами ремонтів.

Види аварії контактної мережі, способи усунення наслідків аварії. Заходи попередження аварії. Техніка безпеки при роботах на контактній мережі міського електричного транспорту.

### **Методичні вказівки**

Звернути увагу на технологію монтажу опор і контактної мережі, а також передові методи організації праці з дотриманням техніки безпеки.



## **ТЕМА 8. ЕКСПЛУАТАЦІЯ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ**

Організація експлуатації контактної мережі. Огляди, виміри та ремонт. Контроль зносу контактного проводу і способи зменшення зносу. Виконання вимірів та їх механізація. Види ремонтів контактної мережі, їх періодичність і обсяг робіт за окремими видами ремонтів.

Види аварії контактної мережі і способи усунення наслідків аварії. Заходи попередження аварії. Механіка безпеки при роботах на контактній мережі міського електричного транспорту.

### **Методичні вказівки**

Звернути увагу на техніку безпеки при експлуатації контактної мережі, особливо при усуненні аварійних ситуацій.

## **ТЕМА 9. КАБЕЛЬНА МЕРЕЖА ТРАМВАЯ І ТРОЛЕЙБУСА**

Типи кабелів, що застосовуються у міському електричному транспорті. ГОСТи на матеріали й переріз кабелів. Конструкція одножильних і багатожильних кабелів. Контрольні жили кабелів і використання їх для вимірювання різниці потенціалів відсмоктувальних пунктів. З'єднання кабелів. Пункти, що живлять і відсасують, їх влаштування.

Монтаж кабельної мережі. Особливості прокладання кабельних ліній. Монтажні кабельні роботи, механізація робіт з прокладання кабелів. Охорона праці і техніка безпеки при веденні робіт.

Експлуатація кабелів, профілактика кабельних мереж, випробування кабелів. Організація технічного нагляду і ремонту кабелів. Способи визначення місць пошкодження кабельних ліній. Техніка безпеки при роботах у кабельних мережах.

### **Методичні вказівки**

При вивченні теми особливу увагу слід приділити існуючим методам виявлення місць пошкодження кабельної лінії.

## **ТЕМА 10. НАГРІВАННЯ ПРОВІДІВ І КАБЕЛІВ**

Загальні питання нагрівання проводів. Особливості нагрівання голих і ізольованих проводів. Нагрівання кабелів. Допустимі температури нагріву проводів і кабелю. Вплив прокладання кабелю і відстань між ними на гранично допустимі навантаження. Вибір перерізу проводів і кабелю за нагрівом. Допустима густина струмів у провідниках. Економічна густина струму.

Використання плавких запобіжників у електричних мережах. Запобіжники з малою і великою тепловою інерцією. Вибір запобіжників у електричних мережах.

### **Методичні вказівки**

При вивченні теми потрібно приділити увагу виборі перерізу проводів за умовами нагрівання, а також вибору плавких запобіжників у електричних мережах.

## **ТЕМА 11. ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК РОЗІМКНЕНИХ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ**

Вплив величини напруги на роботу приймачів енергії. Поняття про відхилення, коливання і втрати напруги. Нормування втрат напруги. Опір і провідність ліній.

Розімкнуті мережі постійного струму і їх розрахунок. Визначення втрат напруги і перерізу проводів. Лінія зосередженого і рівномірно розподіленого навантаження. Лінія з розгалуженням на кінці.

### **Методичні вказівки**

Студент повинен засвоїти методи розрахунку розімкнутих мереж, зосередивши увагу на вмінні на практиці використовувати наведені розрахункові формули.

## **ТЕМА 12. ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЗАМКНЕНИХ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ**

Замкнені мережі. Точки у вузлах, точки струмозподілу. Розрахунок мереж з двобічним живленням і складнозамкнених мереж. Знаходження точок струмозподілу. Метод вузлових рівнянь. Метод перетворювання мереж. Застосування моделей для знаходження струмозподілу у замкнених мережах.

### **Методичні вказівки**

Студент повинен засвоїти особливості режиму роботи тягових мереж і пов'язані з цим особливості їх розрахунку, що відрізняються від потреб до системи електропостачання споживачів.

## **ТЕМА 13. ЖИВЛЕННЯ І СЕКЦІОНУВАННЯ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ**

Схеми живлення і секціонування тягової мережі. Централізована і децентралізована схеми живлення.

Системи резервування електропостачання міських електричних шляхів. Забезпечення надійності роботи тягових мереж.

### **Методичні вказівки**

При вивченні теми слід звернути увагу на порівняльну оцінку різних схем живлення і секціонування контактних мереж.

## **ТЕМА 14. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ**

Особливості режимів роботи тягових мереж міського електричного транспорту. Специфіка навантажень тягових мереж, підстанцій і первинного електропостачання. Вплив коливань напруги на роботу рухомого складу.

Параметри тягових мереж. Облік контактної мережі, ліній, що живлять і відсмоктують. Сортаменти проводів і кабелів. Опір рейкового шляху.

Завдання розрахунку і проектування тягових мереж. Основні фактори, що характеризують роботу і економічні показники тягових мереж. Принципи нормування окремих факторів, що характеризують роботу тягових мереж. Вихідні дані для розрахунку. Загальний хід розрахунку режимів. Вибір розрахунку. Класифікація методів.

### **Методичні вказівки**

Необхідно звернути увагу на особливості роботи струмової мережі. Існуючі методи визначення навантажень на розрахункових ділянках. Основні завдання розрахунку і проектування контактної мережі.

## **ТЕМА 15. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ**

Метод рівномірно розподіленого навантаження. Визначення середніх навантажень за заданим профілем або експлуатаційними даними про питому втрату енергії. Врахування впливу сезонної нерівномірності руху.

Узагальнений аналітичний метод. Розрахунки за середніми навантаженнями і реальними кривих руху.

Розрахунок реальної мережі трамвая. Визначення місцезнаходження відсмоктувальних пунктів і точок струморозподілу. Визначення втрат напруги у рейках. Вибір місцезнаходження тягових підстанцій. Розрахунок відсмоктуючих ліній.

Розрахунок контактної мережі. Визначення положення живлячих пунктів і секційних ізоляторів. Виявлення втрат напруги контактної мережі. Розрахунок

живлячих ліній. Виявлення потужності тягових підстанцій за ефективним струмом і умовами поштовхових перевантажень. Вибір кількості й потужності перетворюючих агрегатів.

#### **Методичні вказівки**

При вивченні теми особливу увагу слід звернути на вивчення методу рівномірно розподіленого навантаження, що переважно використовують у практичних розрахунках тягових мереж.

### **ТЕМА 16. СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ**

Особливості роботи тягових мереж. Розрахунок максимального і мінімального значення струмів короткого замикання. Умови стійкої роботи захисту від струмів коротких замикань і перевантажень у тяговій мережі. Умови виникнення малих струмів.

Принципи захисту тягових мереж від малих струмів короткого замикання: захисти, що реагують на характер зміни струму в режимі короткого замикання, максимальні струмові, потенційні, теплові, струмочасові та ін.

#### **Методичні вказівки**

Особливо слід звернути увагу на причини виникнення "мертвих зон" з метою попередження можливості виникнення малих струмів або вибору ефективного методу захисту від них на практиці.

### **ТЕМА 17. БЛУКАЮЧІ СТРУМИ**

Природа виникнення блукаючих струмів. Анодні й катодні зони. Потенційні діаграми. Фактори, що впливають на характер потенційної діаграми. Аналітичний розрахунок потенціальної діаграми при зосередженому і рівномірно розподіленому навантаженнях.

Заходи щодо обмеження блукаючих струмів.

Розрахунок рейкової мережі. Завдання і методи розрахунку рейкової мережі. Визначення питомих затрат електричної енергії. Визначення втрат

напруги у рейковій мережі при односторонньому приєднанні від'ємних живлячих ліній.

Методи захисту підземних споруд.

### **Методичні вказівки**

Особливо слід звернути увагу на причини виникнення блукаючих струмів, побудову потенціальних діаграм на практиці, основні завдання визначення втрат напруги в рейковій мережі. Методи захисту підземних споруд.

## КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

### ЗАДАЧА 1

#### 1.1. Зміст завдання: Розрахувати просту підвіску контактної мережі трамвая

У результаті розрахунку визначити:

Навантаження для чотирьох режимів:

а) режиму мінімальної температури; б) режиму максимальної температури; в) режиму ожеледиці; г) режиму максимального вітру.

2. Допустиме гасіння провoda за таблицями згідно із завданням.

3. Критичний проліт.

4. Вихідний режим.

5. Скласти рівняння стану провoda і розв'язати його відносно  $t_i$ .

6. Побудувати залежності  $H(t)$  і  $f(t)$  - монтажні криві.

#### 1.2. Вихідні дані

Дані, необхідні для розв'язання задачі, подано у табл.1, вибирає студент залежно від останньої цифри його шифру.

Таблиця 1

№ п/п	Вихідні дані	Умовне позначення	Од. вим.	Остання цифра шифру студенту									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Довжина еквівалентного прольоту		м	30	30	30	32	32	32	33	35	35	33
2	Переріз контактного провoda	$S_{np}$	мм <sup>2</sup>	65	83	100	65	85	100	65	85	100	85
3	Маса провoda	$m$	кг/м	0.58	0.76	0.89	0.58	0.76	0.89	0.58	0.76	0.89	0.76
4	Максимально-допустимий натяг провoda	$H$	Н	8000	10000	12000	8000	10000	12000	8000	10000	12000	10000

Продовження табл. 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	Висота проводу	$h$	мм	9.3	10.8	11.8	9.3	10.8	11.8	9.3	10.8	11.8	10.8
6	Модуль пружності матеріалу проводу	$E$	Н/мм <sup>2</sup>	13·10 <sup>4</sup>	13·10 <sup>4</sup>	13·10 <sup>4</sup>	13·10 <sup>4</sup>	13·10 <sup>4</sup>	13·10 <sup>4</sup>	13·10 <sup>4</sup>	13·10 <sup>4</sup>	13·10 <sup>4</sup>	13·10 <sup>4</sup>
7	Температурний коефіцієнт матеріалу проводу	$\alpha$	1/°C	17·10 <sup>-6</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	17·10 <sup>-6</sup>
8	Район кліматичних умов	-	-	II	III	II	II	II	II	III	III	III	III

### 3. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

#### 3.1. Визначення розрахункових навантажень.

##### 3.1.1. Власна вага 1 пог.м контактного проводу

$$g_{np} = 9,81 \cdot m_{np}, \quad (3.1.1)$$

де  $m_{np}$  - маса проводу, що визначає залежність від заданого перерізу, кг/м (див. табл. 2);

9,81 - прискорення сили ваги, м/с<sup>2</sup>;

##### 3.1.2. Вага ожеледиці на 1 пог.м проводу;

$$a_{\Gamma} = 0,028 \cdot a \cdot 0,5(d + 0,5 \cdot a) \cdot K_{\Gamma}, \quad (3.1.2)$$

де  $a$  - нормативна товщина стінки ожеледиці, мм (приймається за табл.3 з коефіцієнтом 0,5);

$d$  - висота контактного проводу, мм (див. табл. 2);

$K_{\Gamma}$  - коефіцієнт перенавантаження, приймається за табл. 3.



Таблиця 2. Основні дані контактних проводів, сталених дротів і канатів

Матеріал	Площа поперечного перерізу, мм <sup>2</sup>	Модуль пружності на розтяг, Н/мм <sup>2</sup>	Коефіцієнт лінійного температурного видовження	Руйнуюче навантаження, Н	Максимально-допустиме напруження Н із запасом міцності		Маса 1м, кг/м	Висота монтажного проводу мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контактний провід марки МФ за ГОСТ 2584-63 -//- -//-	65	13·10 <sup>4</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	24700	8000	-	0,58	9,3
	85	13·10 <sup>4</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	30600	10000	-	0,76	10,8
	100	13·10 <sup>4</sup>	17·10 <sup>-6</sup>	35000	12000	-	0,89	11,8
Стальний оцинкований дріт за ГОСТ 3617-71 діаметром 5мм	19,6	20·10 <sup>4</sup>	12·10 <sup>-6</sup>	19600	6500	-	0,155	-
Стальний спіральний канат типу ЛК-0 семижильний за ГОСТ 3062-69 діаметром 6,7мм		20·10 <sup>4</sup>	12·10 <sup>-6</sup>	31700	105660	7920	0,2345	-
те ж діаметром 8,0мм		20·10 <sup>4</sup>	12·10 <sup>-6</sup>	44500	14830	11130	0,3305	-

Таблиця 3. Нормативна товщина стінки ожеледиці

Райони по ожеледиці	I	II	III	IV
Товщина стінки ожеледиці, мм	3	5	10	15
Коефіцієнт перенавантаження	1,3	1,3	1,3	1,4

## 3.1.3. Вітрове навантаження на 1 пог.м контактного проводу

$$P_B = 0,615 \cdot 10^3 \cdot V^2 \cdot C_x \cdot d \cdot K_{II}, \quad (3.1.3)$$

де  $C_x$  - коефіцієнт, що враховує нормативний швидкісний напір вітру, аеродинамічний коефіцієнт лобового опору і коефіцієнт нерівномірності поривів вітру на прольоті, приймається за табл.4;

$d$  - висота контактного проводу, мм;

$K_{II}$  - коефіцієнт перенавантаження (див. табл. 3).

Таблиця 4. Нормативні вітрові перенавантаження на проводи контактної мережі, вкриті ожеледдю

Райони по ожеледиці	I	II	III	IV
Нормативне вітрове навантаження, Н/м	$0,144(d + 2a)$			$0,216(d + 2a)$

**Примітки:** 1. У таблиці позначено:

$d$  - висота про вода, мм;

$a$  - товщина стінки ожеледиці, мм;

2. Коефіцієнт перенавантаження для тиску вітру на проводи, вкриті ожеледдю (Кв), беруть рівним 1,4.

3.1.4. Вітрове навантаження на 1 пог.м. контактного проводу, вкритого ожеледдю:

$$P_{B.6} = 0,615 \cdot 10^3 \cdot V_F^2 \cdot C_x \cdot (d + a) \cdot K_{II}, \quad (3.1.4)$$

де  $V_F^2$  - швидкість вітру при ожеледиці, м/с (для I і II районів за режимом ожеледиці беруть рівною 10 м/с, а для III і IV районів -15 м/с.

3.1.5. Результуюче питоме навантаження на контактний провід визначають за виразом:

$$q = \sqrt{(q_{AP} + q_T)^2 + P_{bn}^2}, \quad (3.1.5)$$

3.2. Якщо анкерний проліт складається з прольотів різної довжини, то треба встановити значення еквівалентного прольоту:

$$l_9 = \sqrt{\frac{\sum l_i^3}{\sum l_i}} \approx \sqrt{\frac{\sum l_i^3}{\sum l_a}}, \quad (3.2)$$

де  $l_a$  - довжина анкерного прольоту;

У даному випадку довжина  $l_a$  наведена в завданні (див.табл.1).

3.3. Знаходимо критичний проліт:

$$l_{кр} = H_{\max} \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha (t_r - t_{\min})}{q_T^2 + q_{np}^2}}, \quad (3.3)$$

де  $\alpha$  - температурний коефіцієнт лінійного розширення,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$  (див.табл.1);

$t_r$  - температура режиму ожеледиці,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$H_{\max}$  - максимальний натяг контактного проводу, Н (див.табл.2).

Вихідні дані.

Порівнюючи критичний і еквівалентний прольоти, встановлюють вихідний режим.

Якщо еквівалентний проліт менше критичного, то вихідним режимом буде режим найнижчої температури, якщо еквівалентний проліт більше критичного, то вихідним режимом є режим ожеледиці.

3.3.2. Рівняння стану встановлює залежність між натягом проводу в прольоті при двох окремих режимах і має вигляд

$$\frac{q_x^2 \cdot l_g^2}{24H_x^2} - \frac{q_1^2 - l_g^2}{24H_1^2} = \alpha(t_x - t_1) + \frac{H_x - H_1}{E \cdot q}, \quad (3.3.1)$$

де  $q_1, i q_x$  - питомі навантаження відповідно вихідного й шуканого режимів, км/м;

$H_1, H_x$  - горизонтальні складають тяжіння проводу відповідно вихідного й шуканого режимів, кН;

$t_1, t_x$  - температура відповідно вихідного й шуканого режимів,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$E$  - модуль пружності, гПа (див.табл.2);

$q$  - площа перерізу проводу,  $\text{мм}^2$ .

Це рівняння розв'язують відносно  $t_x$ :

$$t_x = \left( t_1 - \frac{q_1^2 \cdot l_g^2}{24H_1^2 - \alpha} + \frac{H_1}{E \cdot S \cdot \alpha} \right) - \frac{q_x^2 \cdot l_g^2}{24H_1^2 \cdot \alpha} - \frac{H_x}{E \cdot S \cdot \alpha}. \quad (3.3.2)$$

При підстановці у рівняння (3.3.2)  $H_x = H_{\max}$  одержимо значення  $f_{\max}$ , що відповідає найважчому режимові для заданого сезону регулювання. Таким чином, може бути перевірена правильність розрахунків за формулою (3.3.2).

Значення стріл провису ( $f_x$ ) за відомими значеннями натягу  $H_x$  знаходять за формулою

$$f_x = \frac{q \cdot l^2}{8H_x}. \quad (3.3.3)$$

Використовуючи отримані дані, будують криві  $H_x = f(t)$  і  $f_x = f(t)$ .

Побудову кривих зручно виконувати, взявши такі масштаби:

для натягу - 100Н в 1мм;

для стріл провису - 0,003м в 1мм;

для температур - 0,5 °С в 1мм.

Натяги контактного проводу при режимі ожеледиці наносять на графік у вигляді точок.

Зразок графіка подано на рис.1.

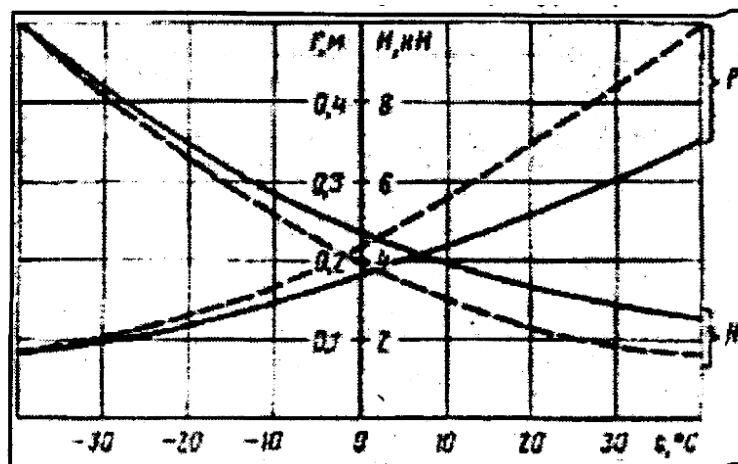


Рис.1 - Монтажні криві

За даними рис.1 будуємо монтажну таблицю, де вказуємо значення натягів і стріл провису для заданого діапазону температур через кожні 5°С.

## ЗАДАЧА 2.

2.1. Зміст завдання: Розрахувати гнучку поперечно-ланцюгову підвіску контактної мережі трамвая і тролейбуса, зображену на схемі рис. 2.

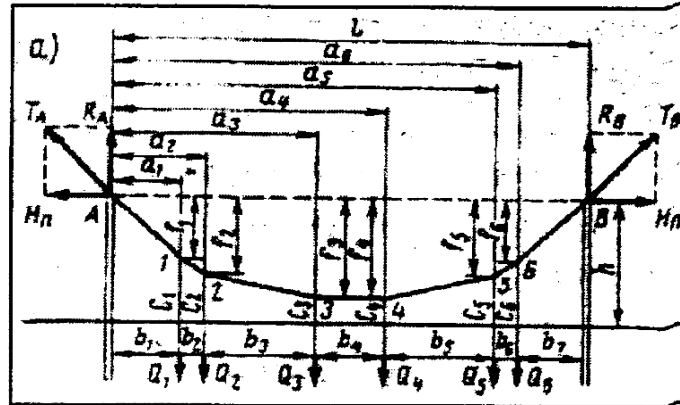


Рис.2. - Поперечно-ланцюгова підвіска

У результаті розрахунку визначити:

1. Натяг поперечно-навантаженого троса при відсутності додаткових навантажень;
2. Натяг поперечно-навантаженого троса у режимі ожеледиці. Перевірити його переріз на міцність;
3. Довжини струн (виходячи з навантаження троса при відсутності додаткових навантажень);
4. Натяг фіксуючого троса у режимі найнижчої температури. Перевірити його переріз на міцність;
5. Сумарне підсилення на опорі на вершинах від натягу навантаженого фіксуючого тросів. Підібрати типову опору.

## 2.2. ВИХІДНІ ДАНІ

1. Матеріал навантаженого троса - сталевий канат діаметром 6,7 мм.
2. Матеріал фіксуючого троса - сталевий дріт діаметром 5 мм.
3. Решта даних подана у табл.2 і вибирається студентом залежно від останньої цифри його шифру.

Таблиця 5. Вихідні дані

№ п/п	Вихідні дані		Умовне позначен- ня	Остання цифра шифру студента									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Поздовжній проліт		м	26	26	27	27	28	28	29	29	30	30
2	Переріз контакт- ного проводу, м <sup>2</sup>	трамвай	S	100	85	100	85	100	85	100	85	100	85
		тролейбус		85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
3	відстані в метрах див. рис. 2		b1	4,0	6,0	4,0	5,0	4,0	8,0	7,0	7,0	5,0	8,0
			b2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
			b3	4,0	4,0	4,5	4,0	4,5	4,0	4,5	4,0	4,4	4,5
			b4	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
			b5	4,0	4,0	4,5	4,0	4,5	4,0	4,5	4,0	4,5	4,5
			b6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
			b7	5,0	4,0	6,0	7,0	6,0	4,0	4,0	5,0	6,0	4,0

## 2.3. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Розрахунок поперечно-ланцюгової підвіски складається з двох незалежних один від одного розрахунків:

- 1) розрахунок поперечно-навантаженого троса;
- 2) розрахунок фіксуючого троса;

Таку залежність розрахунків пояснюють тим, що навантажений трос сприймає і передає на опори всі вертикальні сили, що діють на гнучку поперечну конструкцію, а фіксуючий трос - на горизонтальні сили. Таким чином, умови роботи одного троса не пов'язані з умовами роботи іншого, отже, і розрахунок їх може виконуватись окремо.

### 2.3.1. Розрахунок поперечно-навантаженого троса

Оскільки поперечно-навантажений трос, як було сказано, сприймає вертикальні навантаження, то розрахунковим режимом для нього, при якому зусилля у тросі будуть найбільшими, є режим найбільшого додаткового навантаження (ожеледиця та вітер).

У той же час зусилля, що діють на опору, матимуть максимальні значення у режимі найнижчої температури (без додаткового навантаження), тому що при цьому режимі зусилля у фіксуючому тросі істотно збільшуються, а зменшення навантаження на поперечно-навантажений трос, у порівнянні з режимом ожеледиці, буде незначним, оскільки ожеледиця враховується повністю тільки на троси поперечної підвіски, а на контактному проводі (згідно з "Вказівками" ВСН 1-72) з коефіцієнтом 0,5.

Крім того, довжина струн підвіски повинна бути визначена за умови відсутності додаткових навантажень, що відповідає режиму, при якому буде вестися монтаж мережі. Саме тому розрахунок навантаження троса проводять для двох режимів: найнижчої температури без додаткових навантажень та режиму ожеледиці.

Спочатку ведемо розрахунок для режиму додаткових навантажень, для чого визначаємо вертикальні зосереджені навантаження  $G_1, G_2, \dots, G_n$  і т.д., що враховують вагу поздовжньої підвіски і вагу фіксуючого троса, а також вагу підвісної арматури, що припадають на точку підвісу

$$G_1 = (q + q_{\phi}) - \left( \frac{l_1 + l_2}{2} \right) + G_{арм}, \quad (3.1.1)$$

де  $q$  - власна вага проводу, Н/м (див. табл. 2);

$l_1, l_2$  - довжина поздовжнього прольоту, м;

$q_{\phi}$  - вага одиниці довжини фіксуючого троса, Н/м (див. табл. 2) півсума довжин прольотів фіксуючого троса з обох боків від точки кріплення що розглядається, м;

$G_{арм}$  - вага підвісної арматури в точці кріплення підвіски; при розрахунку береться на кожний провід:

вага підвісної арматури для трамвая - 20 Н;

те ж, для тролейбуса - 25 Н.

Вертикальну складову натягу тросу в опорі В визначаємо з умови рівності нулю суми моментів усіх сил, що взяті відносно точки А:

$$R_B = \frac{\sum_{i=1}^{i=1} Q_i \cdot a_i}{l} - \frac{q_H \cdot l}{2}. \quad (3.1.2)$$

Та сама величина в опорі А:

$$R_A = \sum_{i=1}^{i=1} Q_i - R_B + q_H \cdot l. \quad (3.1.3)$$

У цих формулах:

$a$  - відстань від опори А до відповідного навантаження, м;

$l$  - довжина поперечного прольоту, м;

$q_H$  - власна вага поперечно-навантаженого троса, Н/м (див. табл. 2);

$Q$  - вертикальні зусилля в точці підвісу, кП.

Горизонтальна складова натягу троса визначається з виразу

$$H_n = \frac{M_{\max}}{f_{\max}}, \quad (3.1.4)$$

де  $M_{\max}$  - максимальний момент, що має місце в точці, де опора перерізує сил проходить через нулі. При побудові цієї опори треба враховувати не тільки вертикальні навантаження від ваги підвіски, а також від ваги самого навантаження троса;

$f_{\max}$  - найбільша допустима стріла провису навантаженого троса, що визначається з умови

$$\frac{f_{\max}}{l} > 0,1. \quad (3.1.5)$$

Найчастіше вона визначається, виходячи з висоти типових опор і виконання умови (3.1.5):

$$f_{\max} = h_{OP} - h - l_c, \text{ м} \quad (3.1.6)$$

де  $h_{OP}$  - висота типової опори, м, береться згідно з таблиці 6;

$h$  - висота контактного проводу від головки рейки чи від рівня дорожнього покриття, береться 5 дм;



$l_c$  - довжина найбільш короткої струни, береться згідно з "Вказівками"

ВСН 1-72 Л2:

над трамвайними проводами - 0,5м;

над тролейбусними - 0,7м;

при спільній підвісці трамвайних і тролейбусних проводів - 0,7 м.

Повний натяг поперечно-навантаженого троса:

$$H_n = \frac{M_{\max}}{f_{\max}}, \quad (3.1.7)$$

ВСН1-72Л3:

$$H_n = \frac{R_A \cdot a_3 - Q(a_3 - a_1) - Q_2(a_3 - a_2) - q_H \cdot \frac{a_3^2}{2}}{f_3}. \quad (3.1.8)$$

Довжини струн  $C_i$  (див.рис.2) у точках прикладання зосереджених навантажень визначають, виходячи з величин стріл провису в цих точках:

$$l_{ci} = h - f_i, \quad (3.1.9)$$

де  $f_i$  - стріла провису троса в точці, для якої встановлюється довжина струни, Н/м.

Решта позначень у формулах (3.1.9) і (3.1.10) та ж, що була вибрана раніше.

Натяг поперечно-навантаженого тросу при режимі ожеледиці визначаються аналогічно наведеному розрахунку з тією різницею, що при виявленні вертикальних навантажень враховують вагу ожеледиці на навантаженому й фіксуючому тросах, а також на контактному проводі з коефіцієнтом 0,5.

Щоб не повторювати аналогічні розрахунки, приблизно приймаємо, що натяг тросу при режимі ожеледиці буде на 15÷20% більше, ніж при відсутності додаткових навантажень:

$$T_A = \sqrt{R_A^2 + H_n^2}, \quad (3.1.11)$$

$$T_B = \sqrt{R_B^2 + H_n^2}. \quad (3.1.12)$$

За більшою величиною повинно бути перевірено прийнятий переріз тросу.

Натяг поперечно-навантаженого тросу, відповідно до ВСН 1-72 (ЛЗ) п 6.8а, має бути вибраний не менш ніж з трикратним запасом міцності відносно розривного зусилля:

$$T \cdot K < H_{раз}, \quad (3.1.13)$$

де  $K$  - коефіцієнт запасу міцності;

$H_{раз}$  - розривне зусилля для поперечно-навантаженого тросу вибраного перерізу, Н (див. табл. 2);

$T$  - більше значення з величин  $H_{раз}$  або  $H_n$ , Н.

Крім того міцність поперечно-навантаженого тросу повинна бути перевірена на суму навантажень: власне його робоче навантаження додати розривне зусилля фіксуючої поперечини. За цими умовами запас міцності на навантаженій поперечині не повинен бути менше 1,25:

$$\frac{T}{T_{\phi}} > 1,25, \quad (3.1.14)$$

де  $T_{\phi}$  - розривне зусилля для фіксуючого троса, Н (див. табл. 2).

Решта позначень та ж, що і раніше.

## РОЗРАХУНОК ФІКСУЮЧОГО ТРОСУ

Як було показано раніше, фіксуючий трос сприймає тільки горизонтальні навантаження, що діють на поперечну конструкцію.

Одним з таких навантажень є натяг власне фіксуючого троса в різних режимах і температурах. Щоб визначити ці натяги, можна користуватися формулою (3.3.1), що застосовують для розрахунків простої підвіски.

Однак якщо при розрахунку простої підвіски за вихідний беруть режим, при якому натяги у проводі будуть максимальними, тому що при цьому забезпечується найкраще струмознімання та мінімальна висота опор, то для

фіксуєного тросу обидва ці фактори відповідають, тому немає необхідності завдавати тросу максимальні натяги.

При цьому створюються більш сприятливі умови для роботи самого тросу і для опор.

У той же час і надмірне зменшення натягу фіксуєного троса недоцільне, тому що помітно збільшується стріла провису тросу і погіршується фіксація проводів підвіски. Щоб запобігти цьому, часто задаються найбільшою напругою у фіксуєному тросі десь  $10 \div 20 \text{ Н/м}^2$ ; при максимальній температурі. Для дроту діаметром 5 мм найчастіше беруть найменший натяг 250 Н. Для будь-якої іншої температури трос повинен отримати напруження, яка б не була більшою, ніж допустима.

Тому що прольоти фіксуєного тросу малі, вони будуть менші, ніж критичний проліт, і більш важким режимом, при якому будуть найбільші натяги в тросі, стане режим наднизької температури.

Враховуючи, що прольоти між точками підвісу контактного проводу різні, розрахунок фіксуєного тросу ведуть на еквівалентному прольоті:

$$\epsilon_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \epsilon_i^3}{\sum_{i=1}^n \epsilon_i}}, \quad (3.1.15)$$

де  $\epsilon_i$  - довжина прольоту фіксуєного тросу між токами кріплення контактного проводу, м (рис. 2).

Таким чином, для даного випадку рівняння (3.3.1) має вигляд:

$$\frac{q_{ТХ}^2 \cdot \epsilon_{\text{э}}^2}{24H_x^2} - \frac{q_{Т1}^2 \cdot \epsilon_{\text{э}}^2}{24H_1^2} = \alpha_T (t_x - t_1) + \frac{H_x - H_i}{E \cdot S_T}, \quad (3.1.16)$$

Де  $H_x$  - максимальний натяг тросу при шуканому режимі (найнижчої температури), кг;

$q_{ТХ}$  - навантаження п/м тросу при шуканому режимі, Н;

$\epsilon_{\text{э}}$  - еквівалентний проліт фіксуєного тросу, м;

$E$  - модуль пружності матеріалу троса, Н/мм<sup>2</sup> (див. табл. 2);

$S_T$  - площа поперечного перерізу троса, мм<sup>2</sup> (див. табл. 2);

$t_x$  - температура, відповідна шуканому режимові (найнижчої температури), °С;

$\alpha_T$  - коефіцієнт температурного видовження матеріалу троса (див. табл. 2);

$q_T, t_1, H_1$  - ті ж величини, але віднесені до вихідного режиму (найнижчої температури).  $H_1 = 250$  Н. Оскільки шуканий і вихідний режими належать до режимів, при яких додаткові навантаження у розрахунок не беруться,  $q, P_{BG}$  тобто дорівнює власній вазі троса на 1 Н/м; (див. табл. 2).

Зміна натягу у фіксуючому тросі, враховуючи малі межі, з достатньої точністю можна визначити, запобігаючи впливові власної ваги на натяг за формулою:

$$H_x = H_i - E \cdot S(t_x - t_1). \quad (3.1.17)$$

Оскільки розрахунок підвіски ведуть для ділянки на прямій при режимі найнижчої температури, то додаткові горизонтальні навантаження, діючі на трос (зусилля від зламу контактних проводів, тиску на них вітру), відсутні і зусилля у тросі визначається тільки його власним натягом.

За цим зусиллям виконують перевірку міцності фіксуючого троса, виходячи з 2,5-кратного запасу міцності (Вказівки ВСН 1-72, п.6.8 б) за формулою:

$$2,5 \cdot H < H_{\phi.дон} \quad (3.1.18)$$

Позначення взяті ті самі, що й у формулі (3.1.14).

Підбір типової опори. Опори підбирають з серії типових опор (див. додаток 3), виходячи з взятої при визначенні максимальної стріли провису, висоти опори і зведеного сумарного зусилля на вершинах опори від натягу навантаженого і фіксуючого тросів.

Зведення навантажень до вершини ведуть, виходячи з умови, що діючий на опору згинальний момент не змінився (див. рис. 3)

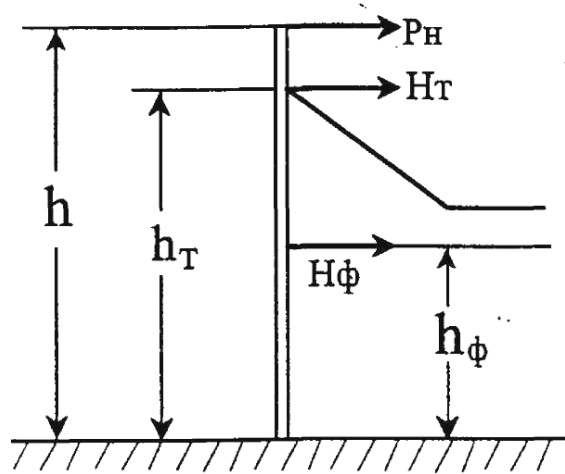


Рис.3.

$$P'_H = H_\phi \cdot \frac{h_\phi}{h} + H_T \cdot \frac{h_T}{h}, \quad (3.1.19)$$

$$P'_H < P_H.$$

де  $H_\phi, H_T$  - зусилля, діюче на опору, Н;

$P'_H$  - зусилля, зведене до вершини опори, Н;

$h_T, h_\phi$  - висота прикладання зусилля, діючого на опору, м;

$h$  - висота прикладання нормативного навантаження, м (див. табл. 4);

$P_H$  - нормативне зусилля, діюче на опору, Н.

Таблиця 6. Характеристика опори

№ п/п	Марка стояка	Нормативне горизонтальне навантаження, Н	Відстань місця прикладання навантаження до рівня стояка	Нормативний згинальний момент на рівні стояка	
				т.м	кН·м
5	СНЦс-3,4-11,5	4000	8,5	3,4	34
6	СНЦс-5,1-11,5	6000	8,5	5,1	51
7	СНЦс-7,7-12	9000	8,5	7,7	77
8	СНЦс-10-12	12000	8,5	10	1000

Примітки: 1) опора складається зі стояка та кронштейна для підвіски ліхтарів вуличного освітлення;

2) марка стояків складається з таких позначень:

С - стояк;

Н - напружена арматура;

Цс - центрифунірування зі стержневою арматурою.

Перша цифра означає нормативний момент (Н·м) на рівні земної поверхні; друга цифра - довжину стояка (в м).

3. На кресленнях замість вказання марки стояків дозволяється застосовувати їх номери за порядком згідно з таблицею 4.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев А.С., Долаберидзе Г.П., Шевченко В.В. Контактные и кабельные сети трамваев и троллейбусов, - М.: Транспорт, 1979. - 303с.
2. Тарнижевский М.В., Томлянович Д.К. Проектирование устройств электроснабжения трамвая и троллейбуса. - М.: Транспорт, 1986. - 376с.
3. Указания по проектированию трамвайных и троллейбусных сетей. ВСН 1-72, МЖКХ РСФСР, 1973г.
4. Запайнов НА, Финкельштейн В.С., Кривов Л.Л. Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса: Под ред. Н.А.Загайнова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1988. - 327с.
5. Кузнецов С.М., Ефретов Л.Н. Эксплуатация и ремонт тяговых подстанции городского электрического транспорта. - М.: Транспорт, 1981. - 311с.
6. Шевченко В.В., Арзамазцев Н.В., Бодрухина С.С. Электроснабжение наземного городского электрического транспорта. Уч. пособие для студентов вузов. - М.: Транспорт, 1987. - 272с.

## Навчальне видання

Програма, методичні вказівки та контрольні роботи з курсу **«Електропостачання і тягові мережі електричного транспорту»** (для студентів 3-5 курсів усіх форм навчання напряму підготовки (0922) 6.050702 «Електромеханіка» спеціальностей «Електричний транспорт» та «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»).

Укладачі: Нем Валерій Костянтинович,  
Гаряжа Василь Миколайович,  
Лукашова Наталя Павлівна

Відповідальний за випуск *Н. А. Дейнеко*

Редактор *З. М. Москаленко*

План 2007, поз. 297

---

Підп. до друку 02.02.2007 р.	Формат 60x84 1/16
Друк на ризографі.	Ум. друк. арк. 1,2
Тираж 300 пр.	Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 731 від 19.12.2001